取扱説明書

MAG*I*CAL®
NANORULER
ナノ尺

TEMの為の
較正用
リファレンススタンダード

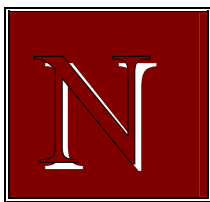
MAG*I*CAL® NANORULER ナノ尺
TEMの為のリファレンス スタンダード

目　　次

MAG*I*CAL®ナノ尺と称される透過型電子顕微鏡(TEM)の為の較正用リファレンス
スタンダードは、今日世界中でTEM較正用の最確標準とされています。又、これは
ギネスブックにも「世界最小の物差し」として登録される栄誉に浴しています。

MAG*I*CAL®ナノ尺は、1990年代の中頃、世界第一級の固体物理研究所で開発され、
透過型電子顕微鏡に関して次の三種の重要な較正が行なえる様になりました。
即ち、:

- 像倍率に於ける較正
- カメラ定数の較正(回折パターンの指示)
- 像及び回折パターン回転の較正
-

この説明書をよくお読みの上、MAG*I*CAL® ナノ尺 の全機能を充分御活用頂きます様
お願い申上げます。

Norrox Scientific Ltd.

MAG*I*CAL® NANORULER ナノ尺
TEMの為のリファレンス スタンダード

リファレンス スタンダード シリーズ番号 No.　　　　　日付:

較 正 証 明 書

MAG*I*CAL®ナノ尺較正用リファレンス スタンダードは、シリコン素地の多層半導体から成る断面型のTEM用試料です。これは、~13 nm厚の純粋シリコン層を交互に挟んだ ~10nm厚の4組の$Si_{0.81}Ge_{0.19}$合金層で出来ています。このゲルマニュームの合金のエピタキシャル層は圧縮された層としてシリコン単結晶<011>基板の 上に分子ビームエピタキシー(MBE法) に依って形成されたものです。総ての較正値は圧縮効果と関連があります。

この4組の交互の層(超格子)は、TEMの中で 明暗のコントラストを作り出し、シリコン単結晶 基板で測定される様に、シリコンの{111}格子間隔を基準として高分解能透過型電子顕微鏡 (HREM) に依って直接的に較正されます。その間隔は、0.313 560 136 (8) nm [1] として知られています。全層セットの各個に亘る測定での不確定性値は、最上、最下双方のSi, Ge の間隔に於て一原子層以下: 即ち、Δt (超格子) < 0.5% です。

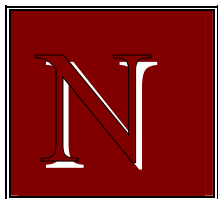
現用の一連の**MAG*I*CAL®** ナノ尺 較正用リファレンス スタンダードで使われている全ウエー ファー材に亘る層厚のむらはX線回折(DCXRD)マッピングで測定されており、 < 1.0 % です。 全較正値(個々の薄い SiGe 及び Si 層を除く)の推測される不確定性値は、総ての不確定性値を求積法で加えた物の組み合わせであります。
「層厚値」表に載せてある較正値の総合的不確定値は:

Δ*t* < 1.0 %　　であります。

総合不確定値は、約95%の信頼度が得られます。御使用になる場合は、較正値を基板にあるSi {111} の格子間隔を参考にして確認することによって較正値の微調整を行なえると共に、個別の較正用リファレンス スタンダードの不確定値を小さくすることが可 能となります。

[1] CRC Handbook of Chemistry and Physics, CRC Press, Inc, Boca Raton, Florida 33431

....
J.P. McCaffrey, Ph.D.

Norrox Scientific Ltd., 64 Westpark Drive, Ottawa, Ontario K1B 3E5 CANADA, **http://mag-i-cal.ca**
Tel: (613) 834-0606, Fax: (613) 834-8790, Email: **mag-i-cal@rogers.com**

Norrox Scientific Ltd.

MAG*I*CAL® NANORULER ナノ尺
TEMの為のリファレンス スタンダード

履 歴 追 跡 証 明 書

MAG*I*CAL®ナノ尺較正用リファレンス スタンダードは、シリコンの単結晶ウエーファーから製造され、スタンダードの中に自然の基本的定数一即ち、シリコンの結晶格子定数を取入れたものであります。このスタンダードに記されている総ての較正値は、直接この自然の定数を基にしているのです。使用される方がシリコン基板の結晶格子像を観察し、較正された値を確認することで較正値を立証することが出来ます。

米国のNISTや英国のNPLといった国立の度量衡研究所(NMI's)では現在のところ如何なる測定も約 0.3 micrometer以下のものは証明を行なっていません。 NMI's は自然定数に対する履歴追跡が可能な測定の証明は行なっていますが、自然定数そのものは証明をしていません。
MAG*I*CAL®ナノ尺 較正用リファレンス スタンダードは、NMI の証明を必要とはしません。何故ならば、較正はスタンダード自身が持っている自然定数(シリコンの結晶格子間隔)に対して直接履歴追跡が出来ると共に、 総ての較正値を使用者自身が立証することが出来る から です。
結晶格子間隔は材料固有の特性です。純粋のシリコンに関して、この格子間隔は学界で良く特定され、文書にも載せられていて、その値は小数点以下8桁以上の精度(0.313 560 136 (8) nm [1].)です。現在最もよく知られている値は、近刊の CRC Handbook of Chemistry and Physics [1] 及びその他多くの参考書に記載されています。

MAG*I*CAL®ナノ尺 リファレンス スタンダードに関する履歴追求に対する標準が要求 される文書には、「自然定数」もしくは 「自然定数に対して直接履歴追求可能 [1]」と記載すれば充分です。

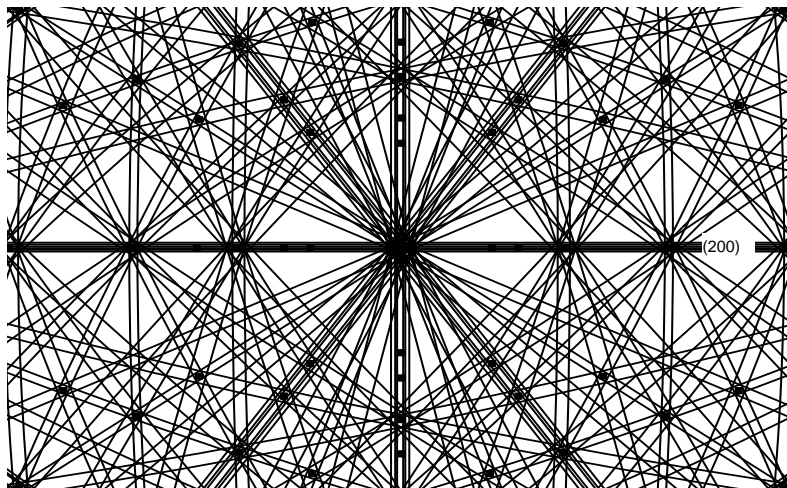
[1] CRC Handbook of Chemistry and Physics, CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida 33431

Norrox Scientific Ltd., 64 Westpark Drive, Ottawa, Ontario K1B 3E5 CANADA, **www.mag-i-cal.ca**
Tel: (613) 834-0606, Fax: (613) 834-8790, Email: **mag-i-cal@rogers.com**

MAG*I*CAL® NANORULER ナノ尺
リファレンス スタンダード

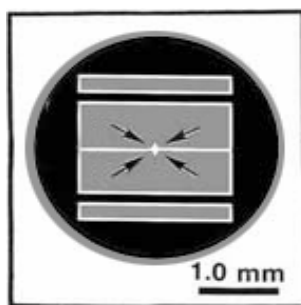
リファレンス スタンダードの芯合わせ

MAG*I*CAL®ナノ尺較正用リファレンススタンダードは、シリコンの単結晶から出来ており其れ故TEM標準として数多くの有用な性質を有する。これ等の性質を利用するには、スタンダードにあるエポキシ線をTEMの資料ホルダーの駆動軸に平行になるようにスタンダードを取りつければ良い(次ページの第2図参照)。スタンダードを視野に持ってきて較正マークを資料の中央の穴の近くにある薄い縁に合わせ(第2図の矢印)、そして焦点調節を行なう。次に、TEMを回折状態にして、カメラ長を最小にし、輝度調節(コンデンサー調節)を前後に調節しオーバーフォーカスの適当な値を見つければ、下記の第1図と類似の菊地パターンと呼ばれる驚くべきパターンが現れる。これら菊地バンドは、弾性ブラッグ散乱によって形成される。

輝度調節をすることに依って回折パターンか菊地パターンの何れもが観察出来る。スタンダードを傾ければ菊地パターンを動かすことが出来、この図で中央の交差部分(最も多くのバンドが交差している)が、電子回折パターンの中央の最も明るい(セロオーダー)点に位置している(輝度調節を前後に調節して見る)。より鮮明な菊地パターンを得るために試料を僅かに厚いか、又は薄い部分に移動させる必要があるかも知れない。

第1図:　シリコン単結晶の<011>面軸で下を見た時の菊地パターン。
図の中央の太い水平なバンドは、{200}菊地線の間に.位置する

MAG*I*CAL® NANORULER ナノ尺
TEMの為のリファレンス スタンダード

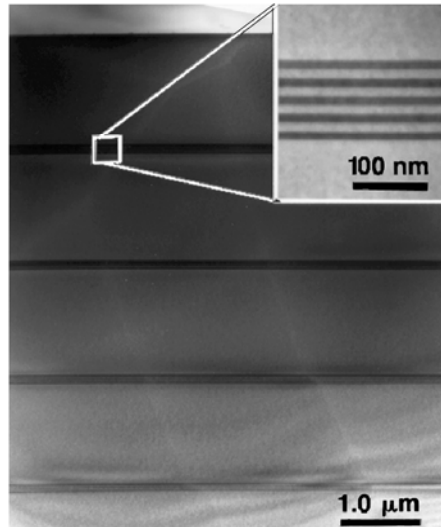
像倍率の較正

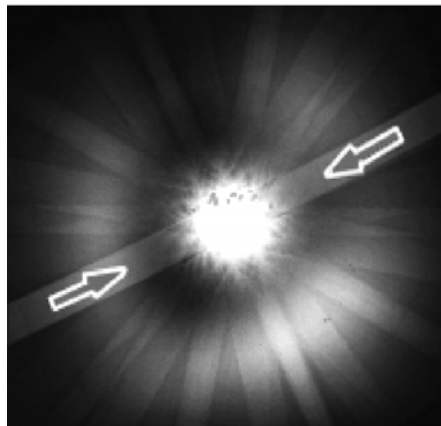
MAG*I*CAL®ナノ尺 は、透過型電子顕微鏡(TEM)の為の較正用リファレンススタンダードであり、イオン切削されたシリコンウエーハーの断面で、その面上には一連の較正用のマークが蒸着させてある。これ等較正用マークの各間隔距離は正確に分かっており、添付されている「層厚値」とラベルのあるシートに記録されている。スタンダードにある較正用のマークは、4個の領域に分かれている。この4個の領域は第2図にある様に矢印で示され、矢印はシリコンウエーフアーを面合わせで貼り合わせてあるエポキシ線の何れ側にも2本宛ある。
スタンダードの中央の孔は図にあるように小さく(直径約0.1mm)である。エポキシの線は極めて薄いことに注目すること。

第2図: MAG*I*CAL® ナノ尺 リファレンス スタンダードの図形。
図面と写真にある矢印は、較正用マークが記されているスタンダード上の
4個の領域を示す。

倍率較正は、顕微鏡のキャビネット又は像に記されてある倍率数値が正しいかどうか、もし正しくなければどうやってその数値修正をするかを知ることが重要なので、最も普通の較正である。この較正の手順は簡単な概念である。まず既知(真の)の大きさを持つ較正用リファレンススタンダードの写真を撮る。次に、測定すべき試料の写真を撮り、この両者を比較する。
較正された(真の)倍率は、試料写真の上で測定された線間隔を既知のスタンダードの線間隔で割れば得られる。この較正された倍率値は、今後その倍率レンジが使用される限り、何時でも使え線間距離の正確な計算に用いることが出来る(下記の例を参照)。

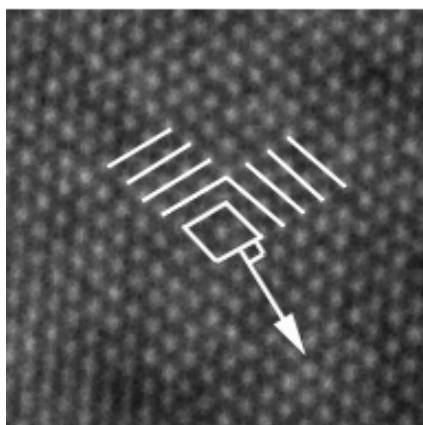
ステップ 1: MAG*I*CAL®ナノ尺をTEMの試料ホルダーに装着する。その時、MAG*I*CAL®ナノ尺のエポキシ線はTEM試料ホルダーの駆動軸と平行になる。

ステップ 2: 注目すべき領域の一つ(第2図で矢印で示す)を顕微鏡の中の標準を用いて見つけた後、層構造に焦点を合わせる。

ステップ 3: **MAG*I*CAL®** ナノ尺がeucentricの位置に来るように資料の高さを調節せねばならない。 (TEMのマニュアルを参照)。資料の高さ調節装置の無い顕微鏡の 場合は、 対物レンズ電流をモニターして各倍率値に於いてその電流を一定に保つ必要がある。

第3図: MAG*I*CAL® ナノ尺の**TEM**写真。挿入図はある一つの層構造を高倍率で 拡大 したもの。第**2**図の矢印で示した**4**個所が総て同じ層構造を持っているのが所見された。

ステップ **4:** 回折モードに切り替えて**MAG*I*CAL®**ナノ尺を傾けると、電子回折又は菊地パター ンは、正確に芯合わせされる。 先のページにある「リファレンススタンダードの芯合わせ」の 章でこの操作の詳細が述べられている。
TEMの電子ビームは**MAG*I*CAL®**ナノ尺リファレンス スタンダードに正しく直角に当てられなければならない(即ち、TEMの電子ビームは、**MAG*I*CAL®** ナノ尺を形成する シリコン結晶材料の結晶軸に平行に保たれねばならない)。 もし、 菊地 パタ ーンを用いた場合は、像は第4図にあるようなものに近くなる。

第4図: シリコンの{011}結晶軸で現れる菊地パターン。矢印は、{**200**}菊地線間に存する広い帯域を示す。電子回折パターンがこの帯域に沿う何れの場所でも中央にあれば、電子ビームは層構造に平行となり、正確な層厚値を示す。

ステップ 5:　第3図に示された領域で、可能な限りの高倍率で顕微鏡の焦点合わせを行なう。ここで最高倍率から順に下げて総ての倍率で、一連の顕微鏡写真或はデジタル像を撮る必要がある。顕微鏡写真或はデジタル像から測定された長さは、「層厚値」とラベルが貼ってあるシートに記された較正値と比較することが出来る。

ステップ 6:
最高倍率(>400,000)での最も正確な較正は、焦点調節をして層構造の下にあるシリコン材の格子像(第5図)を作れば可能となる。其にには最少10個の(111)格子を数え、その両端の格子面列の直角距離を計り、その距離を格子面列の個数で割る。得られた数値は、顕微鏡写真かデジタル像での測定値であり、シリコンの(111)格子間隔(0.3135428nm)と一致する。

第5図: {011}ゾーン軸を上から見たシリコンの格子像で縦横のシリコン原子から形成された中央のダイヤ型によって認められる。ダイヤ型の上部2辺に平行な線は(111)面を示し、その各面間の間隔は 0.3135428nm である。このゾーンから見た各面は直角に合わさらないので、測定は(111)面に直角に行なわれねばならない点に注意を要する。

ステップ 7:
最後に表1にあるような較正表を作成する。ここには公称倍率(TEMに記載される倍率)、及び上記の手順で較正された倍率を記載する。

公称値	較正値	修正値	公称値	較正値	修正値
650,000	**647,000**	**.995**	**42,500**	**44,500**	**1.047**
550,000	**508,000**	**.923**	**30,600**	**30,500**	**.997**
420,000	**378,000**	**.900**	**21,200**	**21,800**	**1.028**
340,000	**347,000**	**1.021**	**17,100**	**17,500**	**1.023**
260,000	**267,500**	**1.023**	**13,600**	**14,000**	**1.029**
160,000	**161,000**	**1.006**	**10,300**	**10,700**	**1.039**
122,000	**124,600**	**1.021**	**7400**	**7750**	**1.047**
88,600	**91,200**	**1.029**	**5550**	**5900**	**1.063**
69,000	**71,000**	**1.029**	**4450**	**5170**	**1.162**
52,100	**54,000**	**1.036**	**3900**	**4200**	**1.077**

表1: 倍率の較正; 250KeV, フィリップス EM430 TEM, 2006年12月.

作成例:

ある測定で長さ1.00 micrometer(1.00 *10-6m)の像が得られ、その公称(機器の)倍率が10,000Xであったとする。もし、像がデジタル又はネガフィルム上で 1.10cm(1.10*10-2m)と測定されたならば、以下の様に較正倍率を計算する:

較正倍率 = 測定値 / 既知値 = 1.10*10-2m / 1.00*10*-6 = 11,000X

以後、10,000X の較正域を使う場合は何時でも、オペレ-タ-は、較正倍率が実際には11,000Xであることを認識して適宜に測定値の修正を行なう。

倍率較正に役立つヒント:

- **資料の軸合わせ:** 較正されたリファレンススタンダードは、電子ビームに直角に配置しないと誤差が出る。即ち、**MAG*I*CAL® ナノ尺** リファレンス スタンダードは、狭い明コントラストの材料間隔と、広い暗コントラストの材料間隔の像として現れる。
  正しいゾーン軸からの如何なる傾きも結晶格子間隔の観測を出来なくしてしまう。正しい操作法は「リファレンス スタンダードの芯合わせ」の記載に従うこと。
- **Eucentric の高さ:** リファレンス スタンダードは、eucentric の位置に配置されねばならない。この位置は各顕微鏡柱で決まっていて変動しないものである。この基準位置にスタンダードを置けば、光学軸に於けるその高さを変えることなくスタンダードを傾けることが出来るので従って焦点位置に置かれたことになる。加えて、対物レンズと中間 1レンズ(投影系の第一レンズ)は各資料に対して何時も同じ値に設定されているので、総ての測定に一貫性が保たれる。もし、eucentric 位置を使うことが困難な場合は、もう一つの方法とて対物 レンズに特別な電流値 を与えてこれを標準化しておけば、 同様の利点が得られる。

- **履歴現象:** 電子機器や機械装置はレンジを変えるとオーバーシュートやアンダー シュートを起こし、普通これがしつこく繰り返されるものである。較正を行なう時は、最高倍率レンジから始 めて低い倍率レンジへ移るようにすれば、一定の履歴効果を保つことが出来る。特に重要な像を得なければならない時は、最初にTEMの倍率を高い方にセットして置き、その後望ましい低いレンジの倍率にセットすると良い。

- **オーバーフォーカス:** 最初オーバーフォーカスにしてそれからフォーカスすること。こうする事によりレンズ履歴効果の微調整が行なえる、と共に重要な測定時のレンズ電流を標準化することが出来る。

- **直接測定:** もしフィルムを使う場合は、ネガから直接測定すること。プリントから測定しないように。ネガで数回の測定を行ないその平均を執ること。又、特に低い倍率を用いた場合は、ネガの縁の方はレンズの歪みがあり得るので測定に用いないようにすること。

- **デジタル像:** 測定を行なうのに多様なデジタル技法が用意されている。リファレンス スタンダード 、試験試料の双方に関する全測定に対して、一つの手法を選ぶことに依り全測定に一貫性を持たせることが出来る。

- **確認:** 一つの対象を2種又は其以上の倍率で測定し、その結果を比較することで誤差を省く様にすること。

MAG*I*CAL® NANORULER ナノ尺 リファレンス スタンダード

カメラ定数の較正

カメラ定数の較正は電子顕微鏡で最も普通の較正である。これは、顕微鏡オペレーターが結晶の格子間隔を判定し、材料を特定するのに役立つ方法である。この特定をするには、単結晶の回折パターンに現れる回折点間距離、もしくは多結晶の回折パターンで現れるリングの直径を測定すればよい。この較正はカメラ定数方程式(微少角近似のブラッグ律から導かれる)を利用することになる:

$$\lambda L = d_{hkl} R$$

ここで、

λ = TEM の加速電圧の波長 (nm)
L = カメラ長(mm)
d_{hkl} = 格子間距離(nm)
R = 測定で得られた単結晶回折パターン上の隣り合った二つの回折点間の距離、又は多結晶回折パターン上のリングの半径(mm)

この定義ではnm-mmが採用されているが、他の多くの単位も用いられる。デジタル化された像では、Angstrom-pixel 又は nm-pixel 等を使用しても良い。
積であるλLは、カメラ定数と呼ばれる。 λ や L は測定から正確な値を得るのが難しいのに対して、 d_{hkl} や R は R の注意深い測定や、リファレンス スタンダードで既知の d_{hkl} から容易に値が得られる。第2表 にある例は、各TEM の加速電圧、 及び各公称 カメラ長(顕微鏡のキャビネットに記 載されている)に対するカメラ定数を纏めたものである。
顕微鏡オペレーターによっては、ある好みの加速電圧での総ての回折測定を行なって作成する表の数を減すことが出来る。

第2表: フィリップス EM430T に於けるカメラ定数、運転電圧250kV、2006年12月

カメラ長 (mm)	λL (nm*mm)	カメラ長 (mm)	λL (nm*mm)
270	0.493	1650	3.45
350	0.664	2200	4.63
500	0.986	2900	6.13
700	1.414	3600	7.63
950	1.950	5000	10.63
1200	2.49	6300	13.41

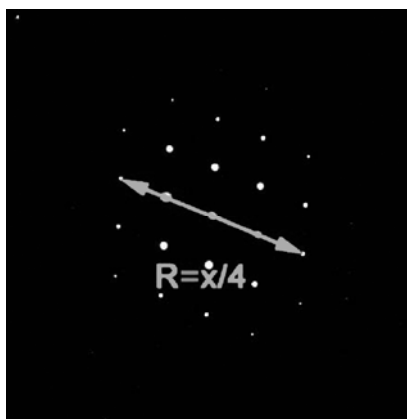
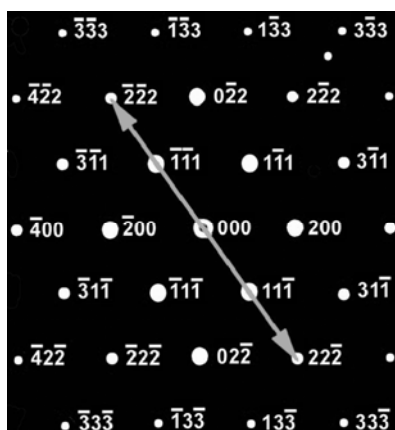
一度この表を作って置けば、顕微鏡オペレーターは何時でも 各自のカメラ長 L を選び、そのカメラ定数を測定で得られた試料の回折点間隔で割ることにより、その材料の結晶格子間距離を正確に決定することが出来る。

この較正に就いては以下の例で図解されている。

実施例:

第6図には電子ビームを[011]結晶面軸に平行させた時、シリコン単結晶(**MAG*I* CAL® ナノ尺** リファレンス スタンダード)の 電子回折パターンの陽画像を示したものである。回折パターンは公称カメラ長1650mmで得られた。第7図は[011]電子ビーム方向で計算され 番号で認識されたシリコンの回折点の一組を示す。このパターンをよく見ると(正方形のパターンでないことに注意)、第６図で一つの{111}の規則正しい配列に沿って二方向矢印でその両像が示される2点が見られる。第６図の二方向矢印は x なる距離 を表し、それは隣り合う二つの[111}点の間の巨離の４倍であるので R= x/4 となる。第６図での我々の計算によると距離は 44.0mm であったので R=11.0 mm が得られた。シリコンの (111) 格子距離は公称で0.314 nm である事が知られている(これは、Handbook of Chemistry and Physics [1] や他の多くの参考書に載っている)。
従って、L = 1650 mm に於けるカメラ定数を得るには:

$$\lambda L = d_{111} R$$
$$= 0.314 \text{ nm } \times \ 11.0 \text{ mm}$$
$$= 3.45 \text{ nm-mm}$$

この値は第2表にこの機器の他のカメラ長に於ける同様の計算値と共に記載されている。
これ等の値はグラフ化することも出来、顕微鏡製造業者の記すカメラ長の値が正しければ、このグラフの結果は直線となる筈である。

第6図： 電子ビームが[011]面軸に平行である時のシリコン単結晶の電子回折パターン

第7図： 電子ビームが[011]面軸に平行である時のシリコン単結晶の電子回折パターンの符合化

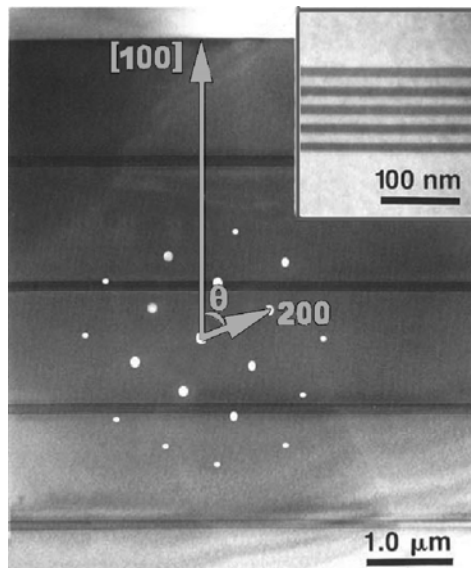
カメラ定数の較正に役立つヒント:

- **Eucentric の位置:** スタンダードはTEMのEucentricの位置に置かれなければならない。
  其が不可能な場合は、ある一つの対物レンズ電流に対してスタンダードを合わせれば、標準と試料が顕微鏡柱内で同じ場所での像の総てが得られる。
- 芯合わせ: **MAG*I*CAL®** ナノ尺 及び単結晶TEM試料では、試料の光学的芯合わせを確実に行ない、ビームが結晶面の軸と平行になるよう心掛ける必要がある。
- **履歴現象:** 最初 最大のカメラ長から始めて段々低い方へ移れば、一貫性が保てると共に履歴歴現象も除去することが出来る。ある重要な回折パターンを得るには、高い方のカメラ長から始めて段々低い方へ移り、希望のカメラ長にセットすれば良い。
- 走査型顕微鏡: 使用すべき顕微鏡が真の走査型顕微鏡である時は、 モードが走査型か透過型であるかに依ってカメラ定数の較正が異るのでその確認をすること。
- 回折パターンに関して: 中間 1 レンズが回折パターン上に適正にフォーカスされている必要がある。これを行なうには幾つかの方法があるが、標準と未知の試料の双方とも同じようにフォーカスする必要がある。その方法の第一は、コンデンサーを時計回り方向に一杯にセットして置き、回折点を最小にフォーカスすることである。第二の方法は、対物絞りを回折パターンに挿入し、その縁を可能な限り鮮明にセットすることである。第三の方法は、焦点の結ばれた集束ビームのパターンを作り、コンデンサー絞りの縁の翳ををフォーカスすることである。

MAG*I*CAL® NANORULER ナノ尺
TEMの為のリファレンス スタンダード

像及び回折パターン回転の較正

像及び回折パターン回転の較正は、試料において他の結晶、線間距離、或は層間隔に関する結晶材料の構造を判定するのによく用いられる。この較正をするには、使用すべき総ての加速電圧に対する各倍率レンジ及び各カメラ長に於て、リファレンス スタンダード像とリファレンス スタンダードの回折パターンの二重露出の写真を撮る必要がある。これはかなり沢山の写真になる!

第8図には、MAG*I*CAL®ナノ尺 リファレンス スタンダードと層構造の詳細を示す挿入像との二重露出写真の一例を示す。ここで[100]方向は像の上を向いているが、回折パターンでは約67°の角度で(200)の点の方へ向いている(第6、7図を参照)。回転の較正値を測定するには、ゼロの回折点から(200)の点まで線を引く。そして、ゼロの点から層構造へ向けて直角に線を引く。この２つの直線が為す角度 θ がこの倍率とカメラ長に於ける回転の較正値であり、未知の試料の像と回折パターン写真が同じ倍率とカメラ長という条件下で撮られたならば、この較正値は未知の試料の結晶方向を特定するのに使うことが出来る。

第8図： 像とMAG*I*CAL®ナノ尺 リファレンス スタンダードのシリコン単結晶の電子回折パターンとの二重露出写真。 挿入：最上部の超格子の高倍率像。

このデータを示す為に、総ての倍率レンジ(像に関する)に対する総てのカメラ定数(電子回折パターンに関する)の表が作られた。測定結果を公表する時には普通の方法で行ない、例えば、「回折点がら像方向へ反時計回りに測定された角度 θ」と題を付け、この情報を自分の表に入れればよい。この方法は180度の対称誤差を除去するのに役立つ。第3表に例を示してある。前にも述べた様に、かなりの量の測定となるので、この表では或一つの加速電圧の場合のみを示す。

第3表:　像及び回折パターン回転の較正ー250 keV，フィリップス EM430T，2006年12月

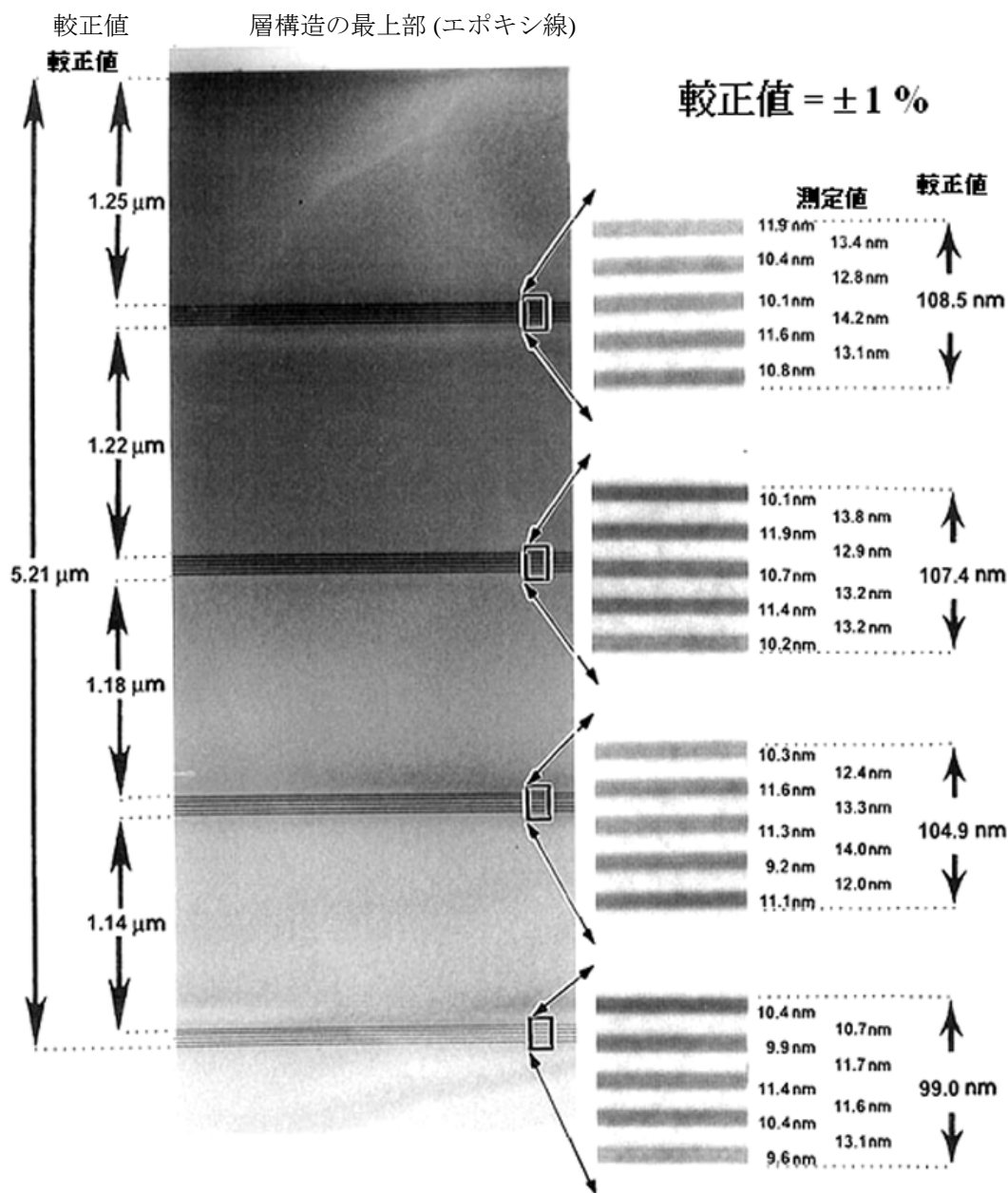
回折点から像方向へ反時計回りで得られる角度 θ									
倍率 >	**5550**	**9400**	**10300**	**13600**	**17100**	**21200**	**30600**	**42500**	**52100**
カメラ長									
270	61.0	62.0	67.0	64.5	68.0	63.0	95.5	328.5	330.0
350	49.5	50.5	55.5	53.0	56.5	51.5	84.0	317.0	318.5
500	15.0	16.0	21.0	18.5	22.0	17.0	49.5	282.5	284.0
700	142.0	143.0	148.0	145.5	149.0	144.0	176.5	49.5	51.0
950	139.5	140.5	145.5	143.0	146.5	141.5	174.0	47.0	48.5
1200	135.5	136.5	141.5	135.0	142.5	137.5	170.0	43.0	44.5
1650	130.5	131.5	136.5	134.0	137.5	132.5	165.0	38.0	35.5
2200	123.0	124.0	125.0	126.5	130.0	125.0	157.5	30.5	32.0
2900	115.0	116.0	121.0	118.5	122.0	117.0	149.5	22.5	24.0
3600	105.5	106.5	111.5	107.0	112.5	107.5	140.0	13.0	14.5
5000	86.0	87.0	92.0	89.5	93.0	88.0	120.5	353.5	355.0
6300	64.0	65.0	70.0	67.5	71.0	66.0	98.5	331.5	333.0
倍率**>**	**69000**	**88600**	**132000**	**160000**	**260000**	**340000**	**420000**	**550000**	**650000**
カメラ長									
270	331.5	338.5	339.5	337.0	18.0	41.0	65.0	49.5	85.5
350	320.0	327.0	328.0	325.5	6.5	29.5	53.5	38.0	72.0
500	285.5	292.5	293.5	291.0	332.0	355.0	19.0	3.5	37.5
700	52.5	59.5	60.5	58.0	99.0	122.0	146.0	130.5	164.2
950	50.0	57.0	58.0	55.5	96.5	119.5	143.5	128.0	162.0
1200	46.0	53.0	54.0	51.5	92.5	115.5	139.5	124.0	158.0
1650	41.0	48.0	49.0	46.5	87.5	110.5	134.5	115.0	153.0
2200	33.5	40.5	41.5	39.0	80.0	103.0	127.0	111.5	145.5
2900	25.5	32.5	33.5	31.0	22.0	45.0	113.0	103.5	137.5
3600	16.0	23.0	24.0	21.5	62.5	85.5	109.5	94.0	128.0
5000	356.5	3.5	4.5	2.0	43.0	66.0	90.0	74.5	105.5
6300	334.5	341.5	342.5	340.0	21.0	44.0	68.0	52.5	86.5

対称は180°又は其以外の角度での誤差の原因となる(第7図参照)。この曖昧さを除去するのにMAG*I*CAL®ナノ尺 リファレンス スタンダードを用いる二つの方法がある。 一つは、(200)回折点を確認し、回折パターンを観察しながらスタンダードを徐々に層構造へ向けて上方へ移動させ、最上層をも通過させる。スタンダードが最上層を過ぎて何もない場所へ出た時、回折パターンは消え始め、遂には(200)回折点に向う方向から消滅する。二つ目は、もしスタンダードの集束ビームパターンが得られ、コンデンサーがアンダーフォーカス(クロスオーバー点がスタンダードより下にある)の時は、スタンダードの像は中央(明るい分野)に現れ、回折パターンに対するスタンダードの関係が記録される。

像と回折パターン回転の較正に役立つヒント:

- 総ての「役立つヒント」は像と回折パターンの双方に適応する。
- 測定の量を管理できる範囲内に抑える為に、最も使い易い一つの加速電圧とたった一つの最も使い易い倍率レンジを選ぶこと。未知の試料を測定する時には、較正に用いる同じ諸元で機器がセットされているか確認すること。

MAG*I*CAL® NANORULER ナノ尺
TEMの為のリファレンス スタンダード

層厚値

測定確度を向上させるには、マイクログラフ上ではっきりと見える最大の距離からを測定すること。例えば、最高倍率に於て各個の暗い層ではなくて、5個の暗い層と4個の明るい層の全セットに亘る距離を測定すること。